

этом необходимо рассмотреть особенности формирования шлакового режима печи (длительность, изменение энергозатрат на печь, стабильность подачи дисперсного углерода, усвоение углерода) [1].

Список использованных источников

1. Тепло- и массообмен в звуковом поле / Под ред. Кутателадзе С.С. Новосибирск: АН СССР, 1970. – 253 с.
2. Стретт Дж.В. Теория звука. Под ред. Рытова Т.П. Т.2, ГИТТЛ, 1956.
3. Машины и аппараты с импульсными энергетическими воздействиями на обрабатываемые вещества. М.: Машиностроение-1. 2004. – 134 с.

УДК 620.92

А. Д. Никитин, С. Е. Щеклеин, У. Ш. Муродов, Н. Б. Холов

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДЛЯ РЕЗЕРВНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЗА СЧЕТ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Аннотация

В данной работе рассмотрена возможность использования термоэлектрических преобразователей (ТЭП) в качестве резервного источника электроэнергии при их установке на оборудование, имеющее высокую температуру поверхности. Исходя из распределения температуры поверхности промышленного оборудования, 85% оборудования имеет температуру больше или равную 125°C, 30% оборудования – более 225°C, что делает установку ТЭП целесообразной. Приведены результаты экспериментальных исследований зависимости вырабатываемой мощности, вольтамперных характеристик и напряжения холостого хода от разности температур между горячей и холодной сторонами ТЭП. При разности температур 350°C удельная мощность ТЭП составила 330 Вт/м², что позволит получить с оборудования, имеющего площадь поверхности 1000 м², дополнительно 330 кВт мощности. При снижении разности температур на 60% вырабатываемая мощность уменьшилась в том же соотношении. Так как стоимость ТЭП относительно высокая, то использование ТЭП для резервного электроснабжения оправдано при температуре поверхности оборудования более 200°C и значительном ущербе от аварии.

Ключевые слова: термоэлектрический преобразователь, резервное электроснабжение, аварийное энергоснабжение, вольтамперные характеристики ТЭП, температура поверхности промышленного оборудования, термоэлектрический эффект.

Abstract

In this work considered the possibility of using thermoelectric converter (TEC) as a backup power source when TEC is mounted on an equipment having a high temperature of surface. Based on the surface temperature distribution of industrial equipment, 85% of the equipment has a temperature greater or equal to 125 °C, 30% of the equipment has a temperature more than 225 °C. It does the installation of TEC rational. The results of experimental studies of depending on power output, current-voltage characteristics and the open-circuit voltage of the temperature difference between the hot side and the cold side of the TEC described. When a temperature difference was 350 °C, the power density of TEC was 330 W/m², which will provide 330 kW of power with the equipment, having a surface area of 1000 m². When the temperature difference is reduced at the 60%, power output decreased in the same ratio. Since the cost of TEC is relatively high, the use of

the TEC for the backup power supply is justified if the temperature of surface of the equipment is more than 200 °C, and if the damage from accident is significant.

Keywords: thermoelectric converter, backup power supply, emergency power supply, current voltage characteristics of the TEC, temperature of the surface of the industrial equipment, thermoelectric effect.

Многие отрасли промышленности (металлургия, энергетика, производство строительных материалов и т.д.) располагают материалоемким оборудованием, имеющим высокие температуры поверхности и способным аккумулировать большой объем тепловой энергии. На рисунке 1 приведены данные по температуре поверхности промышленных агрегатов [1].

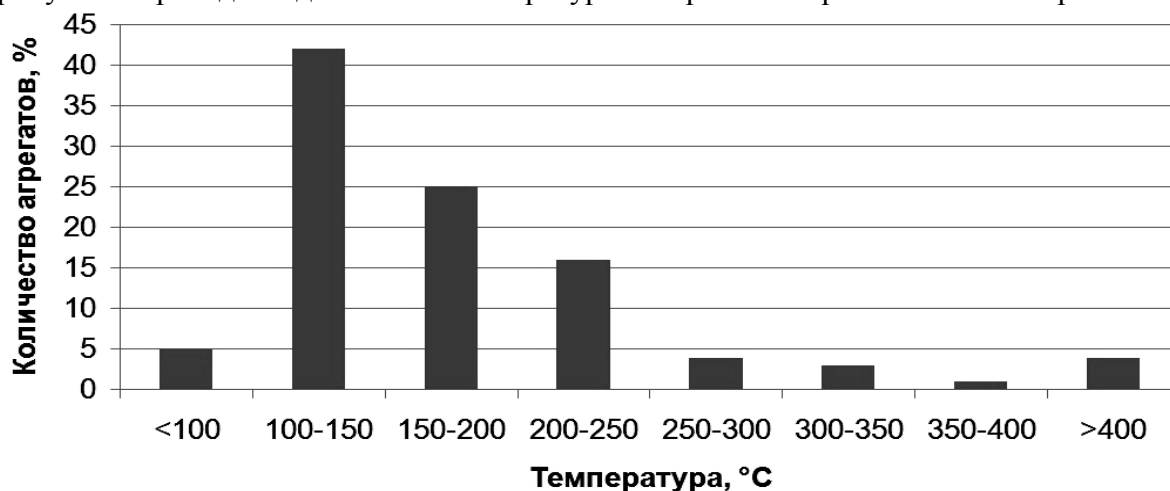


Рис. 1. Распределение температур поверхностей промышленных агрегатов

Как видно из рисунка 1, около 85% оборудования имеет температуру поверхности большую или равную 125°C, а 30% оборудования – более 225°C. Такая разность температур достаточна для работы термоэлектрических преобразователей.

В то же время часто возникает необходимость иметь источник надежного электропитания для питания систем автоматики и управления, который позволит предотвратить развитие серьезной аварии при потере электропитания.

Целью данной работы является анализ возможности использования термоэлектрических преобразователей (ТЭП) в качестве резервных источников электропитания.

Как известно, в электрической цепи из двух разнородных проводников появляется электродвижущая сила dE , если между их концами существует разность температур dT :

$$dE = \alpha_{1-2} \cdot dT, \quad (1)$$

где α_{1-2} – коэффициент термоэлектродвижущей силы [2].

Чтобы создать разность температур на сторонах термоэлектрического преобразователя, к его горячей стороне необходимо подвести тепловой поток Q_h , а с холодной стороны отвести тепловой поток Q_c , причем их разность, по закону сохранения энергии, составит вырабатываемую электрическую мощность P :

$$P = Q_h - Q_c. \quad (2)$$

Мощность, отдаваемую во внешнюю цепь, можно вычислить по следующей формуле:

$$P = I \cdot U = \frac{(\alpha \cdot \Delta T)^2}{R} \cdot \frac{R_H / R}{(1 + R_H / R)^2}, \quad (3)$$

где R – сопротивление ТЭП, R_H – сопротивление нагрузки.

Как правило, производители ТЭП указывают их параметры при номинальной (максимальной) разности температур. Однако мощность, вырабатываемая ТЭП, значительно снижается при уменьшении разности температур. В работе [3] приведены результаты исследований ТЭП из установки для питания катодной защиты газопроводов ГТГ-150. Номинальная мощность ТЭП площадью 0,01 м² составляет 25 Вт при разности температур 450°C. Однако в

ходе эксперимента при снижении разности температур до 150-200°C мощность ТЭП снижалась до 0,5 Вт. Такая производительность ТЭП является слишком низкой для использования его в целях аварийного электроснабжения. Однако в настоящее время выпускаются более современные ТЭП с лучшими характеристиками.

В данной работе исследуется ТЭП, устанавливаемый на печь «Индигирка» (рис. 2). Согласно данным, предоставляемым производителем печи, номинальная мощность ТЭП площадью 0,18 м² составляет 60 Вт [4].

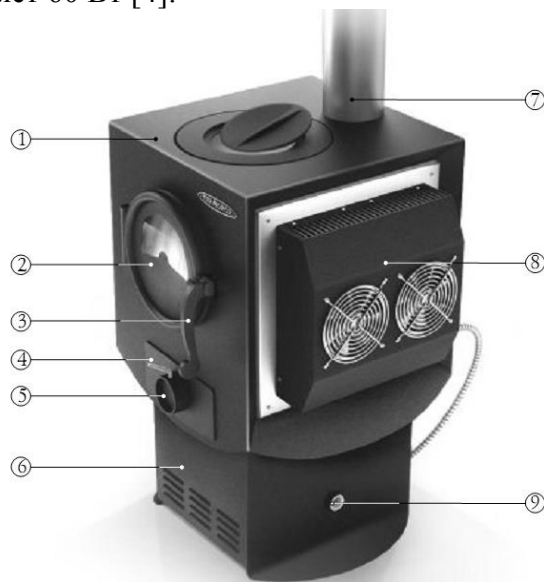


Рис. 2. Печь «Индигирка» с установленным ТЭП

Горячая сторона ТЭП расположена на наружной стенке топки печи и нагревается за счет тепловой энергии от сгорания дров. К холодной стороне ТЭП присоединен радиатор с вентиляторами для ее охлаждения. Энергия для вентиляторов вырабатывается самим ТЭП. В ходе экспериментальных испытаний подобная конструкция показала высокую эффективность, температура холодной стороны не превышала 200°C при максимальной температуре в топке печи около 700°C. За счет вентиляторов увеличивается разность температур и, соответственно, вырабатываемая ТЭП мощность.

В ходе испытаний получена зависимость напряжения холостого хода исследуемого ТЭП от разности температур горячей и холодной сторон (рисунок 3). Также измерены вольт-амперные характеристики ТЭП и вырабатываемая им мощность при различной разности температур (рисунки 4 и 5).

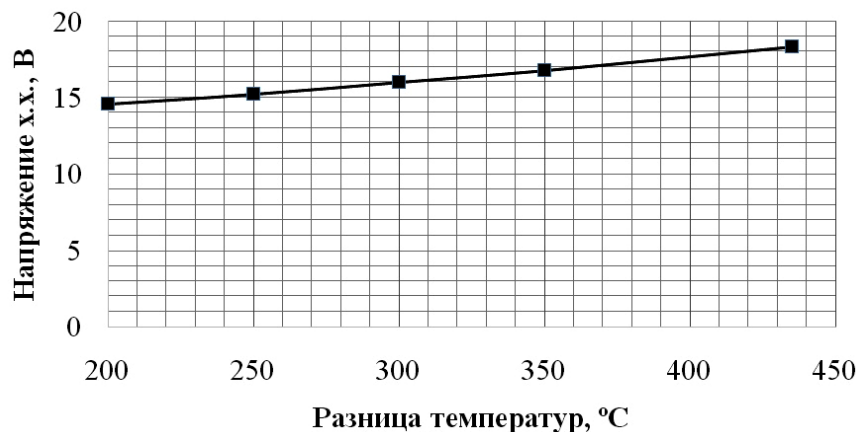


Рис. 3. Зависимость напряжения холостого хода ТЭП от разности температур

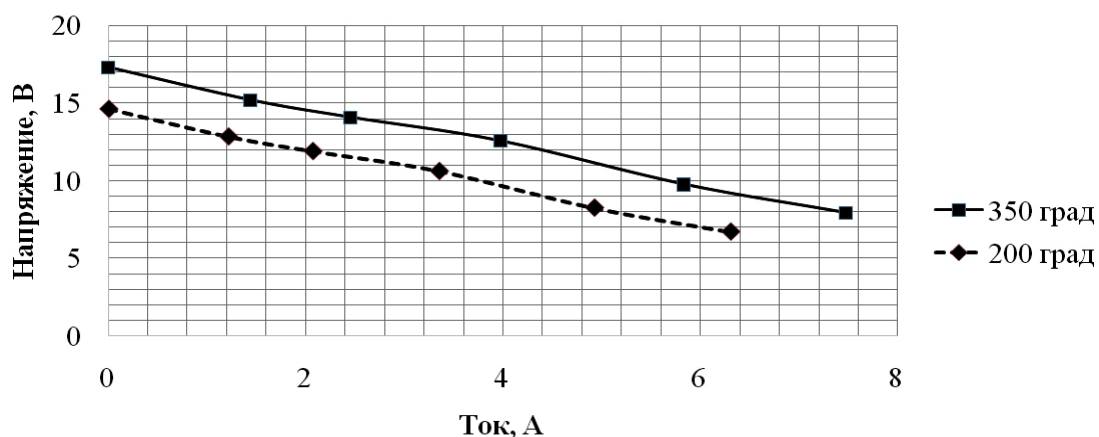


Рис. 4. Вольтамперные характеристики ТЭП при различной разности температур

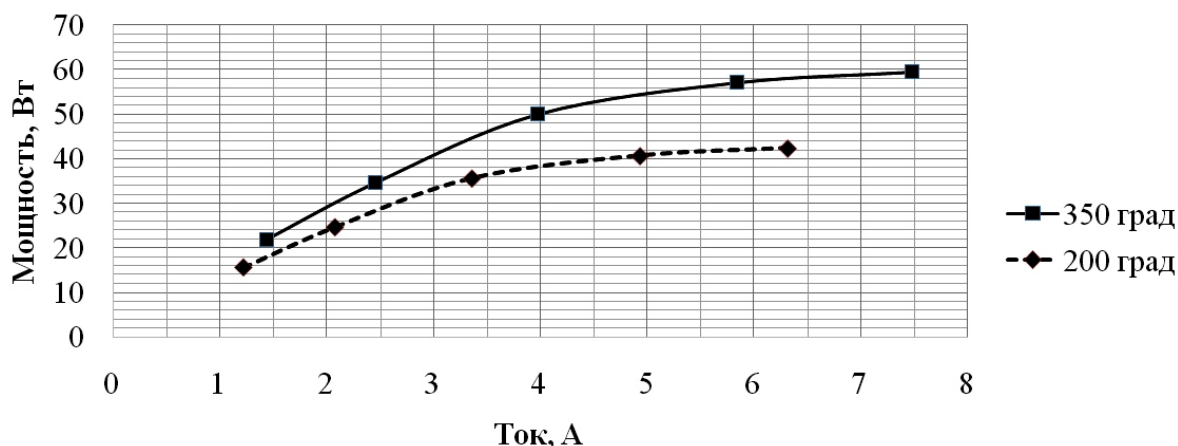


Рис. 5. Вырабатываемая ТЭП мощность при различной разности температур

Как видно из рисунка 5, при разности температур 350°C вырабатываемая ТЭП мощность соответствует номинальной и составляет 60 Вт. При снижении разности температур до 200°C мощность снижается до 40 Вт.

Так как площадь исследуемого ТЭП равнялась 0,18 м², то при разности температур между поверхностями ТЭП в 350°C градусов его удельная мощность равняется 330 Вт/м². Для оборудования, имеющего площадь нагрева 1000 м², при этих условиях можно получить дополнительно 330 кВт мощности. Это позволит обеспечить электроэнергией системы автоматики и управления в случае аварии.

Вследствие относительно низкой эффективности ТЭП и больших затрат на оборудование для предложенной системы, стоимость вырабатываемой ТЭП электроэнергии будет выше стоимости энергии от других источников. Однако в некоторых случаях, например, при значительной стоимости ущерба от аварии или при отсутствии центрального электроснабжения использование данной системы является целесообразным.

Целью дальнейшего исследования в этой области является анализ работы системы с использованием ТЭП в комплексе с другими источниками энергии.

Список использованных источников

1. Шостаковский П. Термоэлектрические источники альтернативного электропитания. // Компоненты и технологии. 2010. № 12. С. 131-138.
2. Иоффе А.Ф. Полупроводниковые термоэлементы. Москва, 1956. - С.13.
3. Shcheklein S.E., Nemikhin Y.E., Nikitin A.D. Reliable power supply system based on thermoelectric generators. // Proceedings of the 5th International Academic Congress «Science, Education and Culture in Eurasia and Africa». (France, Paris, 23-25 March 2015). Volume IV. «Paris University Press», 2015. P. 162-170.

4. Печь «Индигирка». [Электронный ресурс]. URL: http://www.termofor.ru/catalog/model/pechi_portativnie/indigirka/

УДК 662.76

А. О. Овчарников, Н. А. Абаимов, А. Ф. Рыжков

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ КОКСА КАМЕННОГО УГЛЯ В ПРИБОРЕ ТЕРМОГРАВИМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Аннотация

Кокс является важным металлургическим сырьём, поэтому изучение его кинетических характеристик позволит серьёзно повысить эффективность работы оборудования. Перспективным методом определения кинетических свойств твёрдого топлива является термогравиметрический анализ (ТГА). Прибор ТГА (в частности печь) конструктивно сложен и не позволяет экспериментально определять некоторые важные параметры процесса, такие как аэродинамические особенности и распределение газов в объёме печи. Данные параметры, как правило, определяют методом вычислительной гидродинамики (CFD). В данном докладе моделировалось внутреннее пространство печи, включающее тигли, подставку, держатель и трубку подачи защитного газа (аргона). В первом случае расчёт проводился для двух пустых тиглей, а во втором - для одного пустого и одного с навеской кокса Кузнецкого каменного угля марки Д. Моделируемая система считалась изотермичной с температурой 700°С и, соответственно, диффузионным режимом выгорания кокса. Сравнение результатов, полученных для двух вышеописанных случаев, позволило установить характер влияния процесса горения кокса в одном из тиглей на аэродинамику и концентрационные поля внутри печи прибора ТГА.

Ключевые слова: термогравиметрический анализ (ТГА), вычислительная гидродинамика (CFD), кокс угля, кинетика химических реакций, ламинарное течение.

Abstract

Coke is an important metallurgical raw material, so the study of its kinetic characteristics allows to seriously improving the efficiency of the equipment. A promising method for determining the kinetic properties of solid fuels is a thermal gravimetric analysis (TGA). TGA instrument (particularly bake) structurally complicated and does not allow to experimentally determining some important process parameters such as aerodynamic characteristics, and distribution of gases in the kiln volume. These parameters are generally determined by computational fluid dynamics (CFD). The report modeled the interior of the furnace, including crucibles, stand, holder and tube shielding gas (argon). In the first case, the calculation was carried out for two empty crucibles, and in the second - one empty and one with the sample coke Kuznetsk coal brand D. Simulated system is considered to be isothermal with a temperature of 700 °C and, accordingly, the diffusion regime burning coke. Comparing the results obtained for the above two cases, allowed establishing the nature of the influence of coke combustion process in one of the crucibles on aerodynamics and concentration fields inside the furnace TGA instrument.

Keywords: thermal gravimetric analysis (TGA), computational fluid dynamics (CFD), coal coke, chemical reaction kinetic, laminar flow.

1 Введение

В металлургии большую часть продукции получают путем выплавки чугуна в доменных печах. Топливом в доменной печи является кокс. Для эффективного управления процессом горения кокса необходимо знать кинетические характеристики его реагирования. Одним